

9. Heywood, V. Advance Fitness Assessment & Exercise Prescription / V. Heywood –, 3rd Ed. – Leeds: Human Kinetics. 1998 – 48 p.
10. Leger, L.A. A maximal multistage 20m shuttle run test to predict VO₂max / L.A. Leger, J. Lambert // European Journal of Applied Physiology. – 1982. – N 49. – P. 1–5.
11. Wilmore, J. H. Physiology of Sport and Exercise / J.H. Wilmore, D.L. Costill – 3rd ed. – IL: Human Kinetics. – 345 p.

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КОНЬКОБЕЖЦЕВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛИМОРФНЫМИ ВАРИАНТАМИ ГЕНА *BDKRB2*

И.Л. Гилеп, А.В. Ильютик,

Белорусский государственный университет физической культуры,
Научно-исследовательский институт физической культуры и спорта Республики Беларусь,
Республика Беларусь,

В.А. Синелев,

Институт биоорганической химии НАН Беларуси

Современные подходы к отбору спортсменов и персонализации тренировочного процесса должны учитывать их генотипические особенности. Изучение влияния генетической детерминированности на тренируемость спортсменов в последующем может определить подходы к разработке и коррекции тренировочных программ спортсменов с учетом их генетического полиморфизма.

Показано, что продукты гена β 2-рецептора брадикинина (*BDKRB2*) оказывают влияние на работу сердечно-сосудистой системы, а также ассоциированы с физической работоспособностью человека [1–4]. Аллель –9 гена *BDKRB2* ассоциируется с более высоким уровнем экспрессии мРНК β 2-рецептора брадикинина, а следовательно, действуя через β 2-рецепторы, брадикинин может лучше расслаблять гладкие мышечные волокна артериол микроциркуляторного русла и вызывать их расширение [4].

Цель исследования состояла в изучении показателей физической работоспособности у высококвалифицированных конькобежцев с учетом инсерционно-делеционного +9/–9 полиморфизма гена *BDKRB2*.

Методы.

В исследовании приняли участие 29 высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся конькобежном спорте. Среди них 5 МСМК, 18 МС, 6 КМС. Обработаны данные 75 обследований на этапах многолетней подготовки, проведенных в лаборатории биохимии спорта НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь. Все спортсмены были поделены на группы в соответствии с полиморфным вариантом изучаемого гена.

Выделение ДНК осуществляли из капиллярной крови. Для определения полиморфизма гена *BDKRB2* использовали метод амплификации полиморфного участка с помощью термостабильной Taq-ДНК-полимеразы. Полиморфный участок амплифицировали с использованием двухпраймерной системы ген-специфичных олигонуклеотидов к фрагменту гена, прилегающего к полиморфному участку. Исследования проводились в лаборатории молекулярной диагностики ИБОХ НАН Беларуси.

Для исследования динамики биоэнергетических возможностей спортсменов изучались показатели физической работоспособности и частоты сердечных сокращений (ЧСС) в различных зонах энергообеспечения. В качестве тестирующей нагрузки применялся субмаксимальный велоэргометрический тест со ступенчато-возрастающей нагрузкой. Каждые две минуты мощность нагрузки увеличивалась на 150 кгм/мин без интервалов отдыха вплоть до отказа от работы из-за усталости. На каждой ступени задания регистрировали ЧСС. Забор крови для определения лактата осуществляли из пальца на ступенях задания. Определение концентрации лактата осуществлялось с использованием анализатора лактата «BIOSEN» (EKF, Германия). По данным тестирования строились графики зависимости «работа – лактат» и «работа – ЧСС». Затем рассчитывалась мощность работы и частота сердечных сокращений в различных зонах энергообеспечения.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием методов общей статистики. Вычисляли среднее значение показателя и среднее квадратическое отклонение.

Результаты исследования и их обсуждение.

Сравнительный анализ результатов тестирования показал, что спортсмены с генотипом +9–9 и –9–9 гена *BDKRB2* обладают более высокой работоспособностью на уровне порога аэробного обмена (АП) по сравнению с обладателями генотипа +9+9 (866,6±54,8 кгм/мин, 918,1±66 кгм/мин и 645,5±82,7 кгм/мин соответственно, $P < 0,05$). На уровне анаэробного порога (АнП) обладатели аллеля –9 гена *BDKRB2* выполняли физическую нагрузку более высокой мощности, чем обладатели генотипа +9+9 гена *BDKRB2*, $p < 0,05$ (таблица 1).

Также наблюдаются достоверные отличия в показателях максимальной работоспособности на пике концентрации лактата ($A_{\text{макс}}$) между группами спортсменов с полиморфными вариантами +9+9 гена *BDKRB2* и +9-9 гена *BDKRB2*, $p < 0,05$ (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели физической работоспособности спортсменов мужчин в различных полиморфных группах гена *BDKRB2* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>BDKRB2</i>		
	1-я группа	2-я группа	3-я группа
	+9+9 (n=4)	+9-9 (n=33)	-9-9 (n=12)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	645,5±82,7^{*2,3}	866,6±54,8^{*1}	918,1±66^{*1}
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	1113±70,8^{*2,3}	1359±60,8^{*1}	1372±76,5^{*1}
$A_{\text{смеш}}$, кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1386,5±75,7	1630,1±59,1	1556±103,5
$A_{\text{макс}}$, кгм/мин	1613±71,8^{*2}	1821±50,3^{*1}	1763±128
ЧСС _{АП} , уд/мин	113±8,69	128,3±4,23	136±5,76
ЧСС _{АнП} , уд/мин	156,5±2,78	164,5±2,67	166,5±3,23
ЧСС _{смеш} , уд/мин	173,0±2,35	178,8±2,19	172,7±4,0
ЧСС _{макс} , уд/мин	183,5±2,25	181,4±1,51	179,4±1,88
Лактат макс, ммоль/л	8,93±1,37	8,0±0,48	8,16±0,63

Примечание: * – различия достоверны в сравнении с 1, 2 и 3-й группами, $p < 0,05$.

Проанализировав показатели конькобежцев, специализирующихся в беге на короткие дистанции обнаружили, что мощность на уровне аэробного порога в группе +9+9 гена *BDKRB2* ниже ($p < 0,05$), чем в группе с +9-9 того же гена и составляет соответственно 645,5±82,7 кгм/мин и 865,1±58,8 кгм/мин (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели физической работоспособности спортсменов, специализирующихся в конькобежном спорте на короткие дистанции в различных полиморфных группах гена *BDKRB2* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>BDKRB2</i>	
	1-я группа	2-я группа
	+9+9 (n=4)	+9-9 (n=12)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	645,5±82,7^{*2}	865,1±58,8^{*1}
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	1113±70,8	1315,9±118,2
$A_{\text{смеш}}$, кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1386,5±75,7	1442,9±88,2
$A_{\text{макс}}$, кгм/мин	1613±71,8	1542,9±61,8
ЧСС _{АП} , уд/мин	113±8,69	137,0±7,84
ЧСС _{АнП} , уд/мин	156,5±2,78	167,5±5,5
ЧСС _{смеш} , уд/мин	173,0±2,35	176,6±4,73
ЧСС _{макс} , уд/мин	183,5±2,25	180,3±1,94
Лактат макс, ммоль/л	8,93±1,37	7,52±0,88

Примечание: * – различия достоверны в сравнении с 1- и 2-й группами, $p < 0,05$.

У женщин в группе с гетерозиготным генотипом гена *BDKRB2* отмечены самые высокие показатели мощности работы, как на уровне аэробного порога, так и на уровне анаэробного порога (таблица 3). Самые низкие показатели мощности на уровне аэробного порога наблюдались у представителей +9+9 гена *BDKRB2*. В то же время максимальная работоспособность на пике концентрации лактата в группе +9+9 с полиморфизмом гена *BDKRB2* составляла 1380±70,0 кгм/мин и была выше, чем в группе с полиморфным вариантом +9-9 гена *BDKRB2* (1335±47,2 кгм/мин), и значительно выше по сравнению с группой обладателей полиморфизма -9-9 гена *BDKRB2* (1128±33,8 кгм/мин, $p < 0,05$).

Таблица 3 – Показатели физической работоспособности спортсменок в различных полиморфных группах гена *BDKRB2* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>BDKRB2</i>		
	1-я группа	2-я группа	3-я группа
	+9+9 (n=10)	+9-9 (n=10)	-9-9 (n=23)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	541,6±38,8^{*2}	624,2±54,5^{*1}	591±46,7
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	990±63,6	1018±38,3^{*3}	899,8±40,1^{*2}
$A_{\text{смеш}}$, кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1254±89,9	1208±41,7	1095±48,4

Показатели	Аллельные варианты гена <i>BDKRB2</i>		
	1-я группа	2-я группа	3-я группа
	+9+9 (n=10)	+9-9 (n=10)	-9-9 (n=23)
$A_{\text{макс}}$ кгм/мин	1380±70,0* ³	1335±47,2* ³	1128±33,8* ^{1,2}
ЧСС _{АП} уд/мин	119,3±5,49	126,8±7,29	136,4±6,68
ЧСС _{АнП} уд/мин	162,9±1,68	165,6±3,35	168,6±2,47
ЧСС _{смеш.} уд/мин	179,8±1,62	180,2±3,73	183,5±2,1
ЧСС _{макс.} уд/мин	184,3±1,46	182,3±3,36	183,9±1,67
Лактат макс, ммоль/л	8,0±0,73	7,9±0,71	7,34±0,46

Примечание: * – различия достоверны в сравнении с 1, 2 и 3-й группами, $p < 0,05$.

Анализ физической работоспособности конькобежков, специализирующихся в беге на короткие дистанции, выявил наиболее высокие показатели максимальной работоспособности на пике лактата у спортсменок с полиморфным вариантом +9+9 гена *BDKRB2* (1500±56,6 кгм/мин) по сравнению с другими полиморфизмами. Показатели максимальной работоспособности в других группах были значительно ниже и составляли 1328±76,3 кгм/мин в группе с вариантом +9-9 гена *BDKRB2* ($p < 0,05$) и 1128±33,8 кгм/мин с полиморфизмом -9-9 гена *BDKRB2* ($p < 0,001$). Работоспособность на уровне анаэробного порога выше у спортсменок с гетерозиготным генотипом по сравнению с гомозиготными. При этом отличия были достоверны ($p < 0,05$) в группах с +9-9 генотипом гена *BDKRB2* и -9-9 полиморфным вариантом гена *BDKRB2* и составляли 1032±66,6 кгм/мин 897,8±42,1 кгм/мин соответственно. Снижение мощности выполняемой работы наблюдалось в смешанной аэробно-анаэробной зоне ($A_{\text{смеш.}}$) от группы с +9+9 полиморфным вариантом к группе с -9-9 генотипом гена *BDKRB2*, различия между первой и третьей группами достоверные, $p < 0,05$ (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели физической работоспособности спортсменок, специализирующихся в конькобежном спорте на короткие дистанции в различных полиморфных групп гена *BDKRB2* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>BDKRB2</i>		
	1-я группа	2-я группа	3-я группа
	+9+9 (n=3)	+9-9 (n=5)	-9-9 (n=22)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	499±107	657±35,6	586±49,5
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	967±68,9	1032±66,6* ³	897,8±42,1* ²
$A_{\text{смеш.}}$ кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1247±42,6* ³	1169±75,6	1098±50,9* ¹
$A_{\text{макс.}}$ кгм/мин	1500±56,6* ^{3,2}	1328±56,3* ^{3,1}	1128±33,8* ^{1,2}
ЧСС _{АП} уд/мин	116,3±10,7	126,0±10,35	135,9±7,09
ЧСС _{АнП} уд/мин	161,3±2,6	160,0±6,1	168,4±2,59
ЧСС _{смеш.} уд/мин	178,7±1,2	173,0±6,67	183,6±2,2
ЧСС _{макс.} уд/мин	184±3,28	185,7±7,61	184,1±1,73
Лактат макс, ммоль/л	8,63±0,95	8,16±1,05	7,39±0,48

Примечание: * – различия достоверны в сравнении с 1, 2 и 3-й группами, $p < 0,05$.

У представительниц полиморфного варианта +9+9 гена *BDKRB2*, специализирующихся в беге на короткие дистанции, показатели максимальной работоспособности на пике лактата значительно выше, чем у конькобежков, специализирующихся в беге на длинные дистанции, и составляли 1500±56,6 кгм/мин и 1307±66,3 кгм/мин соответственно, $p < 0,05$ (таблица 5).

Таблица 5 – Показатели физической работоспособности спортсменок с полиморфным вариантом +9+9 гена *BDKRB2* разной специализации при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Специализация спортсменок	
	1-я группа	2-я группа
	спринт (n=3)	длина (n=5)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	499±107	559,7±37,2
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	967±68,9	999,71±89,1
$A_{\text{смеш.}}$ кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1247±42,6	1257±130
$A_{\text{макс.}}$ кгм/мин	1500±56,6* ²	1307±66,3* ¹

Показатели	Специализация спортсменок	
	1-я группа	2-я группа
	спринт (n=3)	длина (n=5)
ЧСС _{АП} , уд/мин	116,3±10,7	120,6±6,87
ЧСС _{АнП} , уд/мин	161,3±2,6	163,6±2,2
ЧСС _{смеш.} , уд/мин	178,7±1,2	180,0±2,3
ЧСС _{макс.} , уд/мин	184±3,28	184,3±1,74
Лактат макс, ммоль/л	8,63±0,95	7,73±0,98

Примечание: * – различия достоверны в сравнении с 1 и 2-й группами, $p < 0,05$.

Выводы

Таким образом, в конькобежном спорте, где важно хорошее развитие гликолитического ресинтеза АТФ, так как основные соревновательные нагрузки протекают в течение 4 мин (500 м – около 40 с, 1500 м – до 2 мин, 3000 м – около 4 мин) с преобладанием анаэробного гликолиза, лучшей физической работоспособностью обладают спортсменки с полиморфными вариантами +9+9 и +9-9 гена *BDKRB2*.

В беге на короткие дистанции лучшей работоспособностью обладают конькобежки с генотипами +9+9 и +9-9 гена *BDKRB2*. Они обладают более высокими характеристиками анаэробного гликолиза и способны выполнять работу более высокой мощности на уровне анаэробного порога.

Специализироваться представительницам генотипа +9+9 гена *BDKRB2* лучше в беге на короткие дистанции, так как у них более высокие показатели максимальной работоспособности в анаэробном режиме работы.

Для конькобежцев-мужчин, специализирующихся в беге на короткие дистанции, генотипы +9+9 и +9-9 гена *BDKRB2* будут одинаково уместны.

Спортсмены, имеющие аллель -9 гена *BDKRB2*, обладают лучшей аэробной выносливостью по сравнению с обладателями полиморфного варианта +9+9 гена *BDKRB2*.

1. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2006–2007 Update. / C. Bouchard [et al.] // Med. Sci. Sports and Exercise. – 2009. – V.41. – P. 35–73.

2. Взаимосвязь полиморфизма генов определяющих показатели гемодинамики с профилизацией пловцов в юношеском возрасте / В.А. Синелев [и др.] // Плавание V: материалы V Междунар. научн.-практич. конф., Россия, С.-Петербург, 10–12 октября 2009 г. / НГУ им. Лесгафта; под ред. А.В. Петряева. – СПб., 2009. – С. 71–76.

3. Полиморфизм генов *BDKRB2*, *NOS3*, *AGT*, *ACE* и *AGTR1* и физическая работоспособность человека / В.А. Синелев [и др.] // Доклады Национальной Академии Наук. – 2010. – Т. 54, № 3 – С. 77–83.

4 Bradykinin receptor gene variant and human physical performance / A.G. Williams [et al.] // J Appl. Physiol. – 2004. – Vol. 96. – P. 938–942.

АДАПТАЦИЯ СИСТЕМНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ СТАНОВЛЕНИЯ СПОРТИВНОГО МАСТЕРСТВА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ АЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА

В.К. Гонестова, канд. биол. наук, доцент,

Научно-исследовательский институт физической культуры и спорта Республики Беларусь,
Республика Беларусь

Важнейшим и информативным направлением в поиске функциональных резервов организма является выявление критериев, изменяющихся с повышением спортивного мастерства на протяжении многолетних тренировок [1–3].

Ранее нами разработаны модели адаптации системного кровообращения в процессе повышения спортивного мастерства белорусских спортсменов с привлечением большого круга представителей циклических видов спорта [4, 5]. Наряду с этим представляет научный и практический интерес изучение адаптации характеристик центральной гемодинамики в процессе многолетней адаптации к спортивной/профессиональной деятельности белорусских спортсменов ациклических видов спорта в связи с тем, что имеющиеся данные немногочисленны, неполны и противоречивы в связи с особенностями методов и средств их подготовки, а также в зависимости от пола.

Показано, что одним из эффективных методов поиска «значимых» взаимосвязей является корреляционный анализ по Спирмэну, позволяющий вычлениить функциональные показатели, в частности, параметры центральной гемодинамики, достоверно изменяющиеся при становлении спортивного мастерства и, следовательно, лимитирующие специальную работоспособность спортсменов [6].